



Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

ISSN 1679-0154

Dezembro, 2008

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 08

Manejo da antracnose do sorgo pela utilização de híbridos triplos

Rodrigo Veras da Costa
Laércio Zambolim
Carlos Roberto Casela
Alexandre da Silva Ferreira
Fredolino Giacomini dos Santos

Sete Lagoas, MG
2008

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45 CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Caixa Postal 151

Fone: (31) 3027 1100

Fax: (31) 3027 1188

Home page: www.cnpms.embrapa.br

E-mai: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Carlos de Oliveira

Secretário-Executivo: Paulo César Magalhães

Membros: Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, Camilo

de Lelis Teixeira de Andrade, José Hamilton Ramalho, Jurandir

Vieira Magalhães

Supervisor editorial: Clenio Araujo

Revisor de texto: Clenio Araujo

Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira

Editoração eletrônica: Tânia Mara Assunção Barbosa

1ª edição

1ª impressão (2008): 200 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Sumário

Resumo	5
Introdução	6
Material e Métodos	8
Resultados	13
Discussão	19
Referências Bibliográficas.....	27

Manejo da antracnose do sorgo pela utilização de híbridos triplos

Rodrigo Veras da Costa¹

Laércio Zambolim²

Carlos Roberto Casela¹

Alexandre da Silva Ferreira¹

Fredolino Giacomini dos Santos¹

Resumo

A antracnose é considerada a principal doença da cultura do sorgo no Brasil. Embora o uso da resistência genética seja a principal estratégia para o manejo dessa doença, seu uso é dificultado pela elevada variabilidade patogênica apresentada pelo patógeno. Nos últimos anos, grande ênfase tem sido dada à busca por alternativas que permitam ampliar a durabilidade da resistência do sorgo à antracnose.

O presente trabalho objetivou avaliar a eficiência da diversificação genética do hospedeiro quanto à resistência, por meio de misturas genéticas em populações de híbridos triplos, no manejo da antracnose do sorgo. Foram obtidos 18 híbridos triplos a partir de sete linhagens contendo genes distintos para resistência. Os 25 genótipos (híbridos triplos e linhagens) foram avaliados, em condição de campo, quanto à resistência à antracnose sob condição de inóculo natural.

¹Embrapa Milho e Sorgo, Cx. Postal 151, CEP 35701-970, Sete Lagoas, MG.

²Departamento de Fitopatologia, Universidade Federal de Viçosa, CEP 36570-000, Viçosa, MG.

Foi verificado, em algumas combinações triplas, nível de resistência superior ao verificado para a linhagem mais resistente utilizada nos cruzamentos, sugerindo um efeito aditivo dos genes de resistência das diferentes linhagens na composição da resistência final dos híbridos. Resultados semelhantes foram verificados, também, para produtividade. Além de permitir a redução da intensidade da doença no campo, a estabilização da população do patógeno, impedindo o surgimento ou a seleção de indivíduos mais agressivos, e a promoção de incrementos significativos de produção, esta estratégia traz outra importante vantagem, que é tornar possível a utilização de linhagens que apresentem características agronômicas desejáveis, mas com suscetibilidade à antracnose.

Introdução

O sorgo é, atualmente, um dos principais cereais cultivados no mundo, particularmente em áreas nas quais prevalecem altas temperaturas e baixa precipitação, onde atinge altas produções de grãos e de forragem (LESLIE e FREDERIKSEN, 1995).

Dentre os fatores que afetam a produção da cultura do sorgo no mundo, sobressaem os problemas fitossanitários. A antracnose, causada pelo fungo *Colletotrichum graminicola* (Ces.) Wilson, é considerada a doença mais importante por ocasionar reduções na produção de grãos e de forragem (CASELA et al., 2001; CASELA et al., 2000; PANDE et al., 1991; CARDWELL et al., 1989). A antracnose está presente em todas as áreas de plantio de sorgo no Brasil, podendo causar perdas acima de 50%, principalmente em condições de alta umidade e temperaturas entre 25 e 30°C (CASELA et al., 2000).

Perdas devidas à antracnose são também relatadas em outros países, em ampla faixa de condições ambientais, o que sugere a existência de diferentes ecótipos do patógeno (FREDERIKSEN et al., 1995).

A utilização da resistência genética em cultivares comerciais é considerada a mais eficiente estratégia de manejo da antracnose. Entretanto, o emprego dessa medida é dificultado pela alta variabilidade patogênica apresentada por *C. graminicola*, que determina rápida adaptação do patógeno aos cultivares resistentes (LIMA e MENEZES, 2002; GUIMARÃES et al., 1999; CASELA e FREDERIKSEN, 1994; PANDE et al., 1991; CARDWELL et al., 1989; CARDWELL et al., 1987).

Nos últimos anos, grande ênfase tem sido dada à busca por alternativas que permitam ampliar a durabilidade da resistência do sorgo à antracnose. A resistência dilatária, que atua reduzindo a taxa de desenvolvimento da doença (GUIMARÃES et al., 1998), e a identificação de dissociação de genes de virulência na população do patógeno têm sido utilizadas com esse propósito (CASELA et al., 2002; CASELA et al., 1998). Uma das alternativas para o controle de patógenos que apresentam alta variabilidade é a utilização de estratégias que aumentem a diversidade genética da população hospedeira por meio de misturas, as quais atuam estabilizando a população do patógeno, prevenindo o surgimento ou a seleção de novas raças (GUIMARÃES et al., 1998).

Maior grau de diversificação da população do hospedeiro pode ser obtido pela utilização de multilinhas dinâmicas por meio de misturas genéticas em populações de híbridos triplos, formados a partir de linhagens contendo diferentes genes de resistência à doença (TAPSOBA e WILSON, 1999). Segundo os

mesmos autores, essa proposta integra atributos favoráveis dos princípios da multilinha convencional e piramidação de genes para o manejo de doenças. Na multilinha-padrão, o número de genótipos potenciais na população hospedeira é igual ao número de componentes da mistura. Na multilinha dinâmica, o inter cruzamento permite aumentar a frequência de plantas possuindo mais de um gene de resistência, o que é uma característica da estratégia de piramidação de genes. Entretanto, a heterogeneidade genotípica dentro da população é também aumentada, característica da estratégia de multilinhas.

Portanto, devido à grande variabilidade patogênica apresentada por *C. graminicola* e à dificuldade de controle da antracnose por meio da utilização da resistência vertical, este trabalho tem como objetivo avaliar a eficiência da diversificação genética do hospedeiro quanto à resistência, por meio de misturas genéticas em populações de híbridos triplos, no manejo da antracnose do sorgo.

Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo – CNPMS – Embrapa, em Sete Lagoas-MG. Foram utilizadas sete linhagens-elite do programa de melhoramento de sorgo do CNPMS, quatro linhagens macho-estéreis (A) (1 – 4) e três restauradoras (R) (5 – 7) (Tabela 1). A partir de todas as combinações três a três possíveis, entre as sete linhagens, foram obtidas 18 combinações triplas produzidas a partir do cruzamento entre elas.

Para obtenção das combinações triplas de sorgo, foi utilizado o sistema de macho-esterilidade, baseado no cruzamento de

linhagens macho-estéreis (A), linhagens macho-férteis (B) e linhagens restauradoras da fertilidade (R) (Figura 1). Portanto, plantas A de uma linhagem foram cruzadas com plantas B de uma segunda linhagem, produzindo F_1 estéril (híbrido simples). As plantas F_1 resultantes desse cruzamento foram, então, cruzadas com plantas R de uma terceira linhagem. As plantas resultantes desses cruzamentos constituem os híbridos triplos.

Tabela 1. Sete linhagens e 18 híbridos triplos de sorgo avaliados quanto à resistência à antracnose foliar.

1 - CMSXS210	14 - CMSXS210A * CMSXS112B [‡] CMSXS182R
2 - CMSXS112	15 - CMSXS210A * CMSXS215B [‡] CMSXS182R
3 - CMSXS215	16 - CMSXS210A * CMSXS221B [‡] CMSXS182R
4 - CMSXS221	17 - CMSXS112A * CMSXS215B [‡] CMSXS182R
5 - CMSXS169	18 - CMSXS112A * CMSXS221B [‡] CMSXS182R
6 - CMSXS182	19 - CMSXS215A * CMSXS221B [‡] CMSXS182R
7 - CMSXS116	20 - CMSXS210A * CMSXS112B [‡] CMSXS116R
8 - CMSXS210A * CMSXS112B * CMSXS169R	21 - CMSXS210A * CMSXS215B [‡] CMSXS116R
9 - CMSXS210A * CMSXS215B * CMSXS169R	22 - CMSXS210A * CMSXS221B [‡] CMSXS116R
10 - CMSXS210A * CMSXS221B * CMSXS169R	23 - CMSXS112A * CMSXS215B [‡] CMSXS116R
11 - CMSXS112A * CMSXS215B * CMSXS169R	24 - CMSXS112A * CMSXS221B [‡] CMSXS116R
12 - CMSXS112A * CMSXS221B * CMSXS169R	25 - CMSXS215A * CMSXS221B [‡] CMSXS116R
13 - CMSXS215A * CMSXS221B * CMSXS169R	

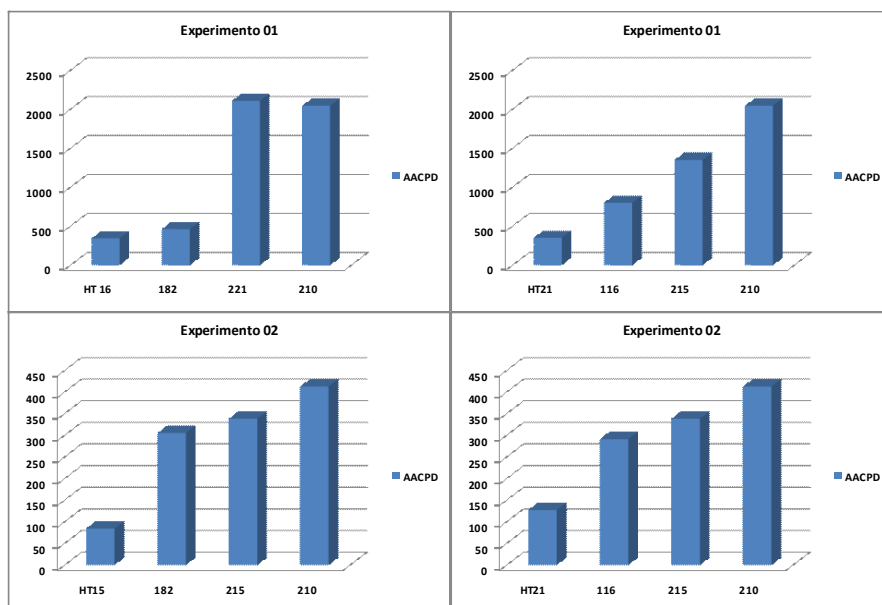


Figura 1. Comparação dos valores de AACPD dos híbridos triplos (HT16 e HT21, experimento 1, e HT15 e HT21, experimento 2) e as linhagens utilizadas nos respectivos cruzamentos.

Obtenção das combinações triplas

Para obtenção das plantas F_1 , foram realizados cruzamentos entre as linhagens CMSXS210, CMSXS112, CMSXS215 e CMSXS221, resultando em seis gerações F_1 . Para isso, foram plantados, em campo, seis blocos compostos de quatro fileiras de 5m cada, utilizando-se o espaçamento de 0,9m entre fileiras e 0,2m entre plantas. Nas duas fileiras centrais de cada bloco foi semeada a linhagem A e nas duas linhas laterais a linhagem B. As sementes colhidas nos seis blocos constituíram os seis híbridos simples (F_1).

As combinações triplas foram obtidas pelo cruzamento entre os seis híbridos simples (F_1) e as linhagens R (CMSXS169, CMSXS182 e CMSXS116), resultando em 18 combinações possíveis. Para isso, foram semeados 18 blocos compostos de quatro fileiras de 5m cada, utilizando-se o espaçamento de 0,9m entre fileiras e 0,2m entre plantas. As duas fileiras centrais de cada bloco foram constituídas por plantas F_1 (estéreis), de cada cruzamento, e as duas fileiras laterais foram semeadas com plantas da terceira linhagem (R). As duas linhas constituídas pelas linhagens restauradoras foram semeadas com uma diferença de 15 dias entre si para garantir a coincidência do florescimento entre as diferentes linhagens e os híbridos F_1 a serem cruzados. As sementes resultantes dos cruzamentos nos 18 blocos constituíram 18 híbridos triplos avaliados quanto à reação à antracnose em experimentos posteriores.

Antes do florescimento, todas as panículas de cada parcela foram cobertas com sacos de papel a fim de se promover o isolamento genético dos materiais durante os cruzamentos. Durante o florescimento, o pólen produzido pelas plantas das fileiras das linhagens R foi transferido, por meio dos saquinhos de papel, para as plantas das linhagens A, efetuando-se, assim, os cruzamentos.

Condução dos experimentos

Foram realizados dois experimentos no campo experimental do CNPMS em Sete Lagoas-MG, em áreas e épocas distintas. O primeiro experimento foi conduzido de dezembro/2002 a março/2003 e o segundo de março a junho/2003. Em ambos os experimentos, foi utilizado o delineamento experimental em

blocos ao acaso, com 25 tratamentos e três repetições. Os tratamentos foram constituídos pelos 18 híbridos triplos e pelas sete linhagens utilizadas na obtenção destes. As parcelas constituíram-se de duas fileiras de 6m de comprimento, com espaçamento de 0,9m entre fileiras e 0,2m entre plantas.

Para promover o isolamento entre as parcelas, foram semeadas duas fileiras de milho, imunes a *C. graminicola*, patogênico ao sorgo, nas laterais e em uma das extremidades de cada parcela.

A 0,5m da extremidade livre de cada parcela foi semeada uma bordadura do cultivar suscetível BR009 (Tx623), formada por fileiras de 1,0m de comprimento, para atuar como fonte de inóculo. Não foi utilizada inoculação artificial.

Obtenção dos dados

Severidade da doença

As avaliações de severidade da doença foram iniciadas imediatamente após o aparecimento dos primeiros sintomas da antracnose no campo e continuadas em intervalo semanal, utilizando-se a escala diagramática estabelecida por Sharma (1983). Foram avaliadas todas as plantas da parcela, exceto as três de cada extremidade das duas fileiras, consideradas como bordadura, e calculada a severidade média em cada parcela.

Produção

Ao final do ciclo cultural das linhagens e dos híbridos, foram realizadas as colheitas das panículas para a avaliação da produção. Foram colhidas todas as panículas de cada parcela, excetuando-se as três das extremidades de cada linha, consideradas como bordadura. As panículas de cada parcela foram

colhidas, etiquetadas, secas em condição ambiente e armazenadas separadamente. Foram realizadas as medições de peso de panícula, produção de grãos e peso de 1.000 grãos de cada parcela.

Análise dos dados

Os dados de percentagem de área foliar lesionada obtidos de cada parcela foram utilizados para calcular a área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD) com o auxílio do programa AVACPD (TORRES e VENTURA, 1991). Os valores de AACPD, peso de panícula, produção de grãos e peso de 1.000 grãos foram submetidos à análise de variância e ao teste Tukey, a 1% de probabilidade.

Para estabelecer correlação entre produção e severidade da doença, foram calculados os coeficientes de correlação entre as variáveis AACPD e produção de grãos, peso de 1.000 grãos e peso de panícula.

Temperaturas máxima, média e mínima, umidade relativa diária média e precipitação total diária foram obtidas na estação meteorológica do CNPMS.

Resultados

Experimento 01 (dezembro/2002 a março/2003)

De acordo com análise das médias de AACPD, sete tratamentos destacaram-se como resistentes (5, 8, 9, 11, 15, 16 e, 21) e três como suscetíveis (1, 2 e 4). Os demais apresentaram nível intermediário de resistência. Dentre as linhagens, apenas a CMSXS169 foi classificada como resistente. As linhagens CMSXS112, CMSXS221 e CMSXS210 constituíram o grupo dos materiais suscetíveis. Das 18 combinações triplas, seis foram classificadas como resistentes e 12 como intermediárias (Tabela 2).

Tabela 2. Comparação dos valores de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), peso de 1.000 grãos (P1000G), produção de grãos (PG) e peso de panícula (PP) nos 25 tratamentos no experimento 1.

Trat	AACPD	TratP 1000 (Trat PG (Kg)	Tra PP (Kg)
02 ^{/1}	2364,58 a*	11 29,369 a	20 2,084 a	20 2,743 A
04	2106,57 ab	12 28,823 ab	10 2,022 a	10 2,684 Ab
01	2045,50 ab	13 28,525 a-c	19 1,996 ab	19 2,642 Ab
03	1350,17 bc	08 27,371 a-d	23 1,919 a-c	08 2,628 Ab
24	1095,73 cd	09 27,304 a-d	08 1,889 a-c	23 2,604 Ab
18	1005,92 cd	10 27,034 a-d	14 1,688 a-c	15 2,409 a-c
07	800,23 cd	05 26,623 a-d	12 1,665 a-c	21 2,384 a-c
22	750,60 cd	25 26,491 a-d	15 1,662 a-c	14 2,339 a-c
14	688,07 cd	17 25,428 a-e	21 1,655 a-c	22 2,321 a-c
17	682,75 cd	19 24,996 a-f	22 1,596 a-c	09 2,248 a-c
19	646,50 cd	23 24,773 a-f	17 1,585 a-c	12 2,113 a-c
06	625,20 cd	21 24,693 a-f	09 1,567 a-c	17 2,096 a-c
20	621,47 cd	15 24,057 a-f	11 1,397 a-c	11 2,008 a-c
12	527,68 cd	20 23,620 b-f	03 1,382 a-c	03 1,956 a-c
23	517,37 cd	22 23,096 c-g	24 1,358 a-c	24 1,861 a-c
25	495,72 cd	14 22,881 d-h	25 1,217 a-c	25 1,709 a-c
10	462,17 cd	16 22,254 d-h	18 1,195 a-c	18 1,674 a-c
13	437,57 cd	18 20,118 e-h	13 1,099 a-c	05 1,600 a-c
15	414,42 d	24 20,002 e-h	05 1,063 a-c	13 1,553 a-c
11	351,23 d	03 19,856 f-h	01 0,909 a-c	01 1,268 a-c
08	350,78 d	06 19,471 f-i	02 0,775 a-c	16 1,087 a-c
21	350,33 d	04 17,964 g-i	16 0,737 a-c	02 1,076 a-c
09	349,92 d	07 17,461 hi	07 0,649 a-c	07 0,934 Bc
16	344,13 d	02 17,383 hi	04 0,551 bc	04 0,801 C
05	277,12 d	01 14,300 i	06 0,519 c	06 0,753 C
CV (%)	32	6,5	29	25

^{/1} Tratamentos listados na Tabela 1

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey

A composição das combinações triplas permitiu avaliar a contribuição de algumas linhagens para o nível de resistência por elas apresentado. Das seis combinações em que CMSXS169 foi utilizada nos cruzamentos, três (50%) foram classificadas como resistentes (híbridos triplos 8, 9 e 11), evidenciando a alta contribuição dessa linhagem para o nível de resistência desses materiais (Figura 2). Esses resultados confirmam resultados obtidos anteriormente, nos quais a CMSXS169 se destacou por apresentar resistência a todos os isolados. Nas outras linhagens R, CMSXS116 e CMSXS182, a percentagem de combinações triplas resistentes foi de 33 e 16%, respectivamente.

Embora esteja clara a alta contribuição da linhagem CMSXS169 para a resistência dos híbridos, algumas combinações, constituídas pelo cruzamento de linhagens classificadas como intermediárias e suscetíveis, apresentaram nível de resistência superior ao das linhagens utilizadas (Figura 3). Algumas das combinações resultantes do cruzamento entre as linhagens CMSXS210, CMSXS221, CMSXS112, CMSXS116 e CMSXS182 foram classificadas como resistentes (tratamentos 15, 16 e 21), embora as linhagens CMSXS210, CMSXS221, e CMSXS112 tenham sido classificadas como suscetíveis e CMSXS182 e CMSXS116 como intermediárias.

A relação entre severidade de doença e produção foi estudada por meio da análise de correlação entre os valores de AACPD, produção de grãos, peso de 1.000 grãos e peso de panícula. O coeficiente de correlação entre AACPD e peso de 1.000 grãos foi significativamente superior ao observado entre AACPD e peso de panícula e produção de grãos (-0,79, -0,5 e - 0,47, respectivamente). De modo geral, as linhagens mais resistentes apresentaram maior peso de 1.000 grãos.

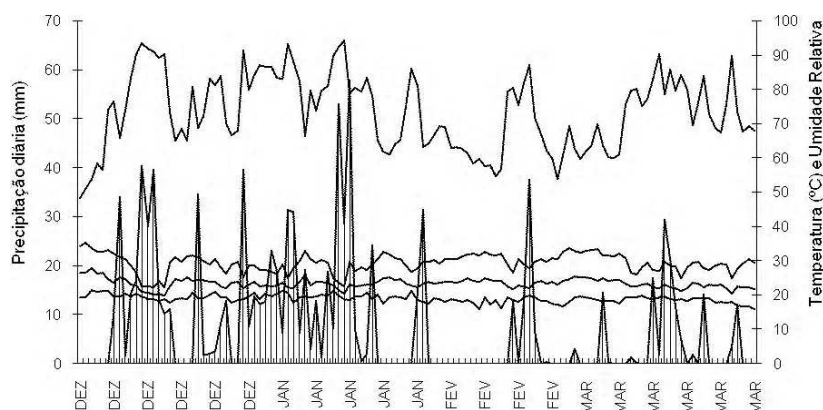


Figura 2. Dados climáticos referentes ao período de condução do experimento 1. Linha horizontal acima = umidade relativa diária média; três linhas abaixo = temperaturas máxima, média e mínima; e linhas verticais = precipitação total diária.

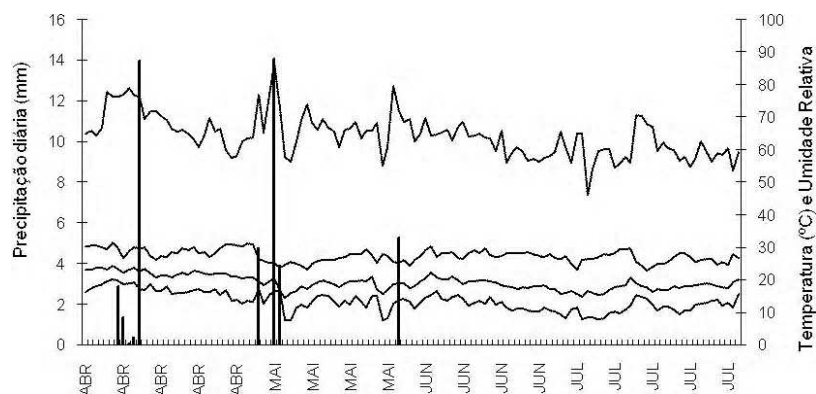


Figura 3. Dados climáticos referentes ao período de condução do experimento 2. Linha horizontal acima = umidade relativa diária média; três linhas abaixo = temperaturas máxima, média e mínima; e linhas verticais = precipitação total diária.

Experimento 02 (março a junho/2003)

De acordo com análise das médias de AACPD, o maior nível de resistência foi obtido pelo tratamento 15, pelo híbrido triplo resultante da combinação das linhagens CMSXS210, CMSXS215 e CMSXS182, seguido da linhagem CMSXS169, que não diferiram, estatisticamente, dos tratamentos 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17, 19, 20, 21, 23 e 25. Os tratamentos 2, 4 e 18 apresentaram-se como os mais suscetíveis. Os demais apresentaram nível intermediário de resistência. Dentre as combinações triplas, 16 foram classificadas como resistentes e uma como suscetível (Tabela 3). Todas as combinações triplas nas quais a linhagem CMSXS169 participou nos cruzamentos foram classificadas como resistentes. As percentagens de combinações resistentes, considerando as linhagens R, CMSXS182 e CMSXS116, foram de 50 e 66%, respectivamente. Todas as combinações triplas classificadas como resistentes tiveram em sua constituição pelo menos uma linhagem também classificada como resistente, uma vez que as três linhagens R foram dispostas nesta categoria.

Entretanto, o valor absoluto de AACPD observado nas linhagens foi, em geral, maior que o observado nas combinações triplas das quais elas participaram, evidenciando o efeito positivo das combinações para o nível de resistência (Figura 3). Como exemplo, o tratamento 15, combinação das linhagens CMSXS210, CMSXS215 e CMSXS182, apresentou o mais elevado nível de resistência entre todos os tratamentos, enquanto as linhagens CMSXS210 e CMSXS215 foram classificadas como intermediárias e a CMSXS182 como resistente (Tabela 3). O mesmo foi observado nas demais combinações triplas classificadas como resistentes.

Tabela 3. Comparação dos valores de área abaixo da curva de progresso da doença (AACPD), peso de 1.000 grãos (P1000G), produção de grãos (PG) e peso de panícula (PP) nos 25 tratamentos no experimento 2 .

Trat.	AACPD	Trat P 1000 G	Trat.PG (Kg)	Trat.PP(Kg)
02 ^{/1}	1725,97a *	13 31,37a	21 2,61 a	21 3,26 a
04	1289,17b	09 30,86a	15 2,34 ab	15 2,94 ab
18	788,90 c	11 30,52ab	17 2,25 a-c	17 2,82 a-c
24	627,43 cd	15 29,48a-c	23 2,23 a-c	23 2,79 a-c
01	413,00 de	10 28,99a-c	25 2,13 a-d	25 2,67 a-d
16	392,70 d-f	19 28,84a-c	13 2,04 a-d	13 2,57 a-e
14	385,70 d-f	05 28,67a-c	11 2,01 a-e	09 2,52 a-e
03	338,57 d-f	21 28,67a-c	09 1,98 a-e	11 2,49 a-e
22	324,33 d-f	08 28,38a-c	19 1,91 a-e	19 2,39 a-e
06	305,43 ef	25 28,13a-c	08 1,82 a-e	08 2,38 a-e
20	303,10 ef	12 28,13a-c	14 1,79 a-e	14 2,34 a-e
07	291,20 ef	17 28,05a-c	20 1,78 a-e	20 2,33 a-e
12	289,80 ef	23 27,52a-c	22 1,67 b-ε	10 2,16 b-e
23	235,43 ef	22 27,36a-c	10 1,63 b-ε	22 2,16 b-e
17	233,33 ef	20 26,29a-d	12 1,53 b-ε	12 2,02 b-e
25	208,83 ef	14 26,10a-d	16 1,43 c-f	16 1,95 b-f
19	186,55 ef	16 24,35b-e	03 1,36 c-f	01 1,94 b-f
10	166,83 ef	03 23,92c-f	01 1,35 c-f	03 1,81 c-g
09	163,80 ef	01 23,75c-f	24 1,27 d-f	24 1,71 d-g
08	157,50 ef	24 23,51c-f	18 1,13 ef	18 1,57 e-g
11	145,02 ef	04 20,79d-f	04 0,61 fg	04 0,92 f-h
13	141,87 ef	18 19,55e-g	02 0,58 fg	02 0,92 f-h
21	127,17 ef	02 17,93e-g	05 0,55 fg	05 0,82 gh
05	95,78 ef	07 17,62Fg	07 0,07 g	07 0,28 H
15	84,23 f	06 13,74G	06 0,06 g	06 0,23 H
CV (%)	23	6	16	14

^{/1} Tratamentos listados na Tabela 1

* Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, a 1% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Os coeficientes de correlação entre AACPD e produção de grãos, peso de 1.000 grãos e peso de panícula apresentaram valores muito próximos: 0,62; 0,68; e 0,67, respectivamente, o que pode ser explicado pelos altos coeficientes de correlação entre as variáveis de produção: 0,98 entre peso de panícula e peso de 1.000 grãos; 0,99 entre peso de panícula e produção de grãos; e 0,98 entre produção de grãos e peso de 1.000 grãos. No geral, as linhagens mais resistentes apresentaram maior produção de grãos, peso de 1.000 grãos e peso de panícula.

Discussão

Um gene na planta que confira resistência a um grupo de indivíduos na população do patógeno, ainda que com menor eficiência, pode ter valor se utilizado em uma apropriada estratégia de manejo da doença. Combinações triplas, obtidas a partir do cruzamento de linhagens classificadas como suscetíveis e intermediárias, apresentaram alto nível de resistência à antracnose. Nessas combinações, o ganho do nível de resistência foi maior que o da linhagem mais resistente utilizada nos cruzamentos.

Embora o nível de resistência das combinações seja definido principalmente pela linhagem com nível mais elevado de resistência, as linhagens que contêm genes de resistência para os quais a frequência de isolados virulentos é elevada também contribuem para a resistência final do híbrido, o que pode ser observado pelo mais alto nível de resistência deste último em relação ao da linhagem mais resistente. Isso sugere um efeito positivo da combinação de linhagens em um único genótipo, cada uma contribuindo com seus genes para o nível final de

resistência no híbrido resultante. Esse é o caso, por exemplo, do tratamento 16 (híbrido triplo resultante da combinação das linhagens CMSXS210, CMSXS221 e CMSXS182) do experimento 01, para o qual o valor de AACPD foi de 344,13, enquanto para cada uma dessas linhagens os valores foram de 2045,50; 2106,57; e 625,20, respectivamente. Houve, portanto, redução em torno de 50% com relação à linhagem mais resistente, a CMSXS182. O mesmo foi observado nos tratamentos 15 e 21 do mesmo experimento. No segundo experimento, o número de combinações que foram classificadas como resistentes foi maior, resultando em maior número de casos nos quais o nível de resistência nas combinações foi superior ao das linhagens separadamente (Tabela 3).

Efeito semelhante foi observado com a ferrugem do milheto, em que a resistência condicionada pelo gene *Rr* em Tift85DB, embora menos eficiente que os híbridos PS748BC e Tift89D¹, foi detectada nos três anos de estudo e, conseqüentemente,² contribuiu com a resistência contra certa proporção de indivíduos na população do patógeno (TAPSOBA e WILSON, 1999). A diversificação de genes de resistência a doenças na população hospedeira tem se mostrado eficiente no manejo de epidemias causadas por muitos patógenos foliares, pelo uso de multilinhas e misturas de cultivares (PYNDJI e TRUTMANN, 1992; MAHMOOD et al., 1991; CHAKRABORTY et al., 1991; SITCH e WHITTINGTON, 1983).

Efeito favorável de misturas físicas de cultivares visando ao manejo da antracnose do feijoeiro tem sido relatado, estendendo-se além da frequência de indivíduos resistentes na população hospedeira (PYNDJI e TRUTMANN, 1992). Esses resultados indicam que o efeito das combinações de linhagens

em híbridos triplos é semelhante ao observado nas multilinhas e misturas físicas, embora possa variar em intensidade.

Num sistema de mistura de cultivares ou multilinha-padrão, o número de genótipos possíveis é igual ao número de linhagens que o compõe. No sistema de misturas triplas de linhagens contendo diferentes genes de resistência, por meio de cruzamento, como utilizado neste estudo, o número teórico de genótipos (G), considerando ausência de ligação entre esses locos, pode ser descrito como $G = 3^x$, em que x é o número de genes de resistência (TAPSOBA e WILSON, 1999). O intercruzamento de três linhagens aumenta a frequência de plantas possuindo mais de um gene de resistência, o que é uma característica da estratégia de piramidação de genes. Também a heterogeneidade genotípica da população é aumentada, o que é uma característica da estratégia de multilinhas (WILSON et al., 1993). Essas características em comum podem explicar o efeito semelhante das técnicas mencionadas.

Existem poucos trabalhos sobre a utilização de misturas genéticas utilizando-se híbridos triplos. Topsoba e Wilson (1999) usaram diferentes híbridos de milho para desenvolver três categorias de misturas do hospedeiro: mistura física; populações oriundas de acasalamento ao acaso; e mistura de híbridos simples e triplos, representando diferentes níveis de complexidade de resistência, por meio do aumento da heterogeneidade das populações e da piramidação de genes de resistência nas populações heterogêneas. Segundo os autores, os valores de AACPD para misturas de acasalamento ao acaso e misturas de cruzamentos foram consistentemente menores que a média dos componentes, com reduções variando de 12 a 71%. Neste trabalho, os valores de AACPD foram significativamente me-

nores em relação não apenas à média dos componentes, mas também à das linhagens mais resistentes utilizadas nas combinações, à exceção daquelas combinações nas quais a linhagem CMSXS169 foi um dos componentes.

Os fatores epidemiológicos propostos para explicar a eficiência das misturas de cultivares e multilinhas podem ser aplicados para as combinações triplas via cruzamentos. O uso de misturas de linhagens no controle de doenças em plantas pressupõe a ocorrência de, pelo menos, dois mecanismos básicos: prevenir o fluxo de genes de virulência, reduzindo a dispersão de inoculo ou prevenindo o surgimento ou a seleção de raças complexas; e diminuir a unidade suscetível dentro do campo, atuando como barreira física à dispersão de inóculo (GUIMARÃES et al., 1998; WOLFE, 1997; LANNOU e MUNDT, 1996; NTAHIMPERA et al., 1996; WOLFE, 1985; BROWNING e FREY 1969).

A vantagem das misturas genéticas triplas é o aumento do número de fenótipos resistentes por meio das possíveis combinações dos genes de resistência provenientes das três linhagens em um único genótipo (TOPSOBA e WILSON, 1999). De acordo com os autores, em combinações triplas obtidas a partir de linhagens contendo diferentes genes de resistência 25% dos indivíduos na população podem ter genes de resistência oriundos das três linhagens, 50% podem ter genes de resistência de dois pais e 25% podem ter genes de resistência a partir de um pai apenas. Isso pode explicar as variações no nível de resistência de algumas combinações triplas nas quais linhagens resistentes, como CMSXS169, foram utilizadas nos cruzamentos.

Com relação aos dois experimentos, foram observadas diferenças no comportamento entre os tratamentos. No primeiro experimento, sete tratamentos foram considerados resistentes: a linhagem CMSXS169 e seis combinações triplas. No segundo experimento, 16 tratamentos foram classificados como resistentes (Tabela 3), incluindo os sete citados no experimento 1. Dois fatores importantes devem ser mencionados: diferença da época de plantio, resultando em diferenças climáticas importantes no decorrer dos dois experimentos; e a estrutura populacional do patógeno em áreas distintas. Neste trabalho, serão analisados apenas os fatores relacionados ao clima.

As condições climáticas foram bastante distintas no período de condução dos dois experimentos. Nas Figuras 2 e 3, estão registradas as temperaturas máxima, média e mínima, a umidade relativa média e a precipitação total diária no período de condução dos dois experimentos. Diferença marcante ocorreu com a precipitação total. No período de condução do experimento 1, a precipitação média diária foi de 73,4mm, mas de apenas 0,38mm no período de condução do experimento 2. A temperatura média diária foi de 23,4 e 19,4°C para os experimentos 1 e 2, respectivamente. As condições que favorecem o desenvolvimento da antracnose do sorgo são caracterizadas por altas temperaturas e precipitação (FREDERIKSEN, 2000). Segundo Pande et al. (1994), o máximo desenvolvimento da doença foi observado com temperatura média em torno de 25°C, enquanto temperaturas abaixo de 15°C e acima de 30°C restringiram seu desenvolvimento. Segundo os mesmos autores, um período mínimo de 24 horas de molhamento foliar é necessário para o desenvolvimento da doença, cuja severidade é maior com o aumento do período de molhamento foliar. A chuva é considerada o principal mecanismo de disseminação do patógeno no campo.

Portanto, as condições climáticas predominantes durante o período de condução do experimento 1 favoreceram o maior desenvolvimento da doença em relação às aquelas observadas no experimento 2. Em ambos os experimentos, o valor máximo de AACPD foi observado com a linhagem CMSXS112: 2364,58 e 1725,97, nos experimentos 1 e 2, respectivamente. Além disso, no primeiro experimento, sete linhagens resistentes foram observadas, enquanto no segundo esse número foi de 16. Provavelmente, esses resultados estão relacionados à maior intensidade da doença no primeiro experimento devido às condições climáticas mais favoráveis ao seu desenvolvimento.

Houve correlação negativa entre AACPD e peso de 1.000 grãos, no experimento 1, e entre AACPD e peso de 1.000 grãos, produção de grãos e peso de panícula no experimento 2. A ausência de correlação entre AACPD e produção de grãos e peso de panícula, no experimento 1, pode estar relacionada à maior pressão de doença nesse período, evidenciando o efeito mais pronunciado da doença na fase de enchimento de grãos.

O efeito positivo das combinações, resultando em nível mais elevado de resistência que o observado nas linhagens separadamente, foi também observado na produção. As combinações triplas classificadas como resistentes apresentaram pesos de 1.000 grãos, produção de grãos e peso de panícula maiores que os das linhagens puras. O tratamento 11 (combinação de CMSXS112, CMSXS215 e CMSXS169), no experimento 1, apresentou aumento de 10%, 33% e 41% em relação ao peso de 1.000 grãos, quando comparado com as linhagens CMSXS169, CMSXS210 e CMSXS112, respectivamente (Figura 4). Aumento significativo foi observado nas demais

variáveis de produção. A linhagem CMSXS169, que apresentou nível superior de resistência no experimento 1 e o segundo no experimento 2, produziu menos que as combinações triplas das quais participou, incluindo aquelas classificadas como intermediárias. Segundo Topsoba e Wilson (1999) e Wilson et al. (1994), a redistribuição e a piramidação de genes de resistência e o aumento da heterogeneidade da resistência, como resultado do intercruzamento, são as prováveis razões dessa vantagem das combinações triplas.

Outro fator que possibilita a utilização, na prática, de combinações triplas é o aproveitamento do vigor híbrido na produção de sementes, quando comparado ao dos híbridos simples. Nesse último, as sementes são colhidas em linhagens, enquanto nos híbridos triplos são colhidas em híbridos simples, resultando maior rendimento para produtores de sementes.

Estudos adicionais tornam-se necessários para monitorar a flutuação populacional do patógeno, a fim de determinar quais fenótipos predominam em uma população heterogênea, bem como a possibilidade de surgimento ou de seleção de novos fenótipos virulentos e o tempo de vida útil desses híbridos. Deve-se avaliar também o comportamento destas e de outras combinações triplas no manejo de outras doenças e selecionar aquelas que apresentam maior uniformidade em relação a outras características agronômicas, a fim de tornar prática sua utilização.

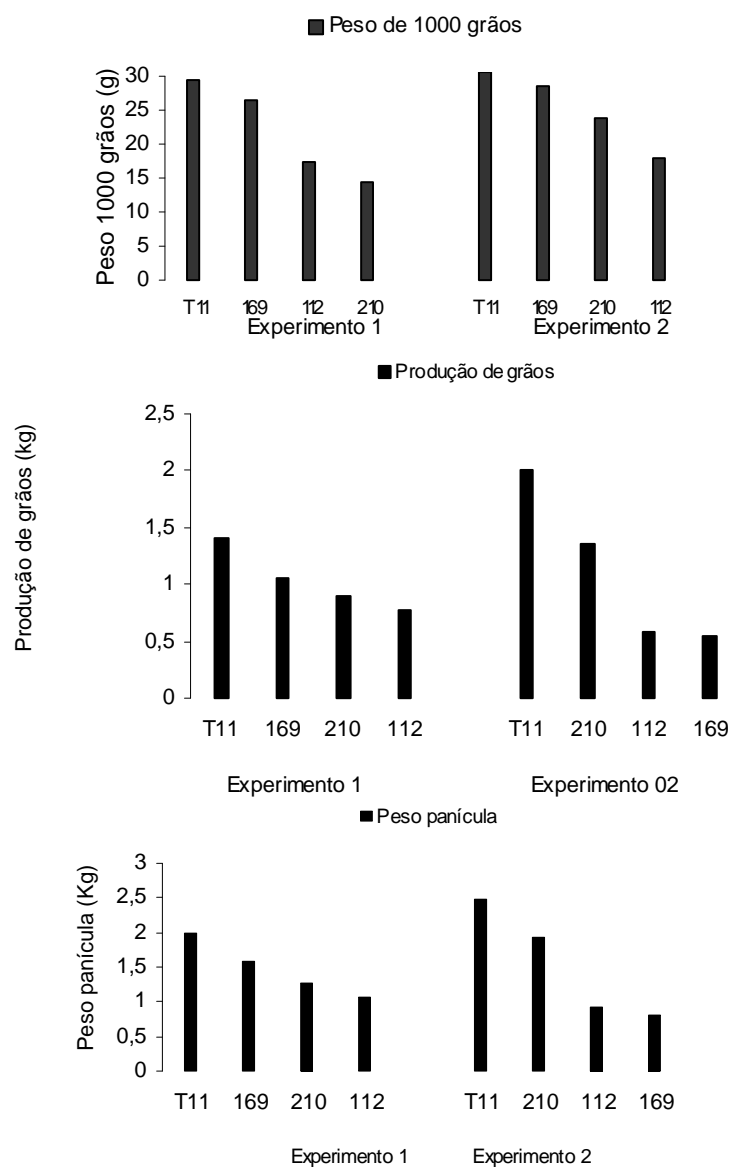


Figura 4. Dados climáticos referentes ao período de condução do experimento 1. Linha horizontal acima = umidade relativa diária média; três linhas abaixo = temperaturas máxima, média e mínima; e linhas verticais = precipitação total diária.

Em conclusão, a linhagem CMSXS169 apresentou alto nível de resistência a *C. graminicola*, tendo valor potencial para obtenção de híbridos com alta resistência à antracnose foliar. A utilização de populações geneticamente heterogêneas quanto à resistência, por meio da combinação de linhagens em híbridos triplos, mostrou-se altamente eficiente para o manejo da antracnose. Além de permitir reduzir a intensidade da doença no campo, estabilizar a população do patógeno, impedindo o surgimento ou a seleção de indivíduos mais agressivos, e promover incrementos significativos de produção, esta estratégia traz outra importante vantagem, que é tornar possível a utilização de linhagens que apresentem características agronômicas desejáveis, mas com suscetibilidade à antracnose.

Referências bibliográficas

- BROWNING, J. A.; FREY, K. J. Multiline cultivars as a means of disease control. **Annual Review of Phytopathology**, v. 7, p. 355-382, 1969
- CARDWELL, K. F.; HEPPERLY, P. R.; FREDERIKSEN, R. A. Pathotypes of *Colletotrichum graminicola* and seed transmission of sorghum anthracnose. **Plant Disease**, v. 73, p. 255-257, 1989
- CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; SANTOS, F. G. Differences in competitive ability among races of *Colletotrichum graminicola* in mixtures. **Fitopatologia Brasileira**, v. 26, n. 2, p. 217 - 219, 2001

CASELA, C. R.; SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Associação de patogenicidade e diversidade fenotípica de *Colletotrichum graminicola*, agente causal da antracnose em sorgo.

Fitopatologia Brasileira, v. 25, n. 3, p. 517 - 521, 2000

CASELA, C. R.; FERREIRA, A. S.; SANTOS, F.G. Associação de virulência de *Colletotrichum graminicola* à resistência genética em sorgo. **Fitopatologia Brasileira**, v. 23, p. 143 - 146, 1998

CASELA, C. R.; FREDERIKSEN, R. A. Pathogenic variation in monoconidial cultures of *Colletotrichum graminicola* from a single lesion and from monoconidial subcultures. **Fitopatologia Brasileira**, v. 19, p.149-153, 1994

CARDWELL, K. F.; KIRKPATRICK, T. L.; DALE, J. L.; HOLLIER, C. A. Reported regional outbreaks of anthracnose of sorghum in a tristate area in 1985-86. **Sorghum Newsletter**, v. 30, p. 89 - 90, 1987

CHAKRABORTY, S.; PETTITT, A. N.; CAMERON, D. F.; IRWIN, J. A. G.; DAVIS, R. D. Anthracnose development in purê and mixed stands of the pasture legume *Stylosanthes scabra*. **Phytopathology**, v. 81, p. 788 - 793, 1991.

FREDERIKSEN, R. A. **Compendium of Sorghum diseases**. St. Paul: American Phytopathological Society, 2000. 82p.

FREDERIKSEN, R. A.; THOMAS, M. D.; BANDYOPADHYAY, R.; MUGHOGHO, L. Variable pathogens of sorghum. In: LESLIE, J.F.; FREDERIKSEN, R.A. (eds.). **Disease Analysis through Genetics and Biotechnology**. Interdisciplinary Bridges to Improved Sorghum and Millet Crops. Ames: Iowa State University Press. 1995. p. 11 - 23

GUIMARÃES, F. B.; CASELA, C. R.; SANTOS, F. G.; PEREIRA, J. C. R.; FERREIRA, A. S. Avaliação da resistência de genótipos de sorgo a antracnose. **Summa Phytopathologica**, v. 25, n. 4, p. 308 - 312, 1999

GUIMARÃES, F. B.; CASELA, C. R.; SANTOS, F. G.; FERREIRA, A. S. Controle da antracnose do sorgo através da utilização de mistura de cultivares. **Summa Phytopathologica**, v. 24, p. 131- 135, 1998

LANNOU, C.; MUNDT, C. C. Evolution of a pathogen population in host mixtures: simple race – complex race competition. **Plant Pathology**, v.45, p. 440 - 453, 1996

LESLIE, J. F.; FREDERIKSEN, R. A. Variable pathogens: a acenario. In: LESLIE, J.F.; FREDERIKSEN, R.A.; BORLAUG, N. (eds.). **Disease analysis through genetics and biotechnology**. Ames: Iowa State University, 1995. p. 3 - 8

LIMA, M. L. F.; MENEZES, M. Estudo comparativo de isolados de *Colletotrichum graminicola* através da análise eletroforética de padrões protéicos e isoenzimáticos. **Fitopatologia Brasileira**, v. 27, n. 1, p.12 - 16, 2002

MAHMOOD, T.; MARSHALL, D.; MCDANIEL, M. E. Effect of winter wheat cultivar mixtures on leaf rust severity and grain yield. **Phytopathology**, v. 81, p. 209 - 214, 1991

NTAHIMPERA, N.; DILLARD, H. R.; COBB, A. C.; SEEM, R. C. Anthracnose development in mixtures of resistant and susceptible dry bean cultivars. **Phytopathology**, v. 86, p. 668-673, 1996

PANDE, S.; MUGHOGHO, L. K.; BANDYOPADHYAY, R.; KARUNAKAR, R. I. Variation in pathogenicity and cultural characteristics of sorghum isolates of *Colletotrichum graminicola* in India. **Plant Disease**, v. 75, p. 778 – 783, 1991

PANDE, S.; THAKUR, R. P.; KARUNAKAR, R. I.; BANDYOPADHYAY, R.; REDDY, B. V. S. Development of screening methods and identification of stable resistance to anthracnose in sorghum. **Field Crops Research**, v. 38, p. 157 - 166, 1994

PYNDJI, M. M.; TRUTMANN, P. Managing angular leaf spot on common bean in Africa by supplementing farmer mixtures with resistant varieties. **Plant Disease**, v. 76, p. 1144 - 1147, 1992

SHARMA, H. L. A technique for identifying and rating resistance to foliar disease of sorghum under field conditions. **Proceeding of the Indian Academy of Science**, v. 42, p. 278 - 283, 1983

SIFUENTES BARRERA, J. A.; FREDERIKSEN, R. A. Evaluation of sorghum hybrid mixtures for controlling sorghum leaf blight. **Plant Disease**, St. Paul, v. 78, p. 99 - 503, 1994

SITCH, L.; WHITTINGTON, W. J. The effect of variety mixtures on the development of swede powdery mildew. **Plant Pathology**, v. 32, p. 41-46, 1983

TAPSOBA, H.; WILSON, J. P. Increasing complexity of resistance in host populations through intermating to manage rust of pearl millet. **Phytopathology**, v. 89, n. 6, p. 450 - 455, 1999

TORRES, J. C.; VENTURA, J. A. Um programa para calcular a área e o volume abaixo da curva de progresso da doença. **Fitopatologia Brasileira**, v. 16, p. 52, 1991

WILSON, J. P. Identification of virulence in *Puccinia substriata* var. *indica* to Rr_1 in pearl millet. **Plant Disease**, v. 77, p. 100, 1993

WILSON, J. P.; HANNA, W. W.; GATES, R. N. Stability of forage yield and quality in pearl millet hybrids heterogeneous for rust resistance. **Euphytica**, v. 72, p. 163 -170, 1994

WOLFE, M. S. The current status and prospects of multiline and variety mixtures for diseases resistance. **Annual Review of Phytopathology**, v. 23, p. 251 - 273, 1985

WOLFE, M. S. **Variety mixtures in theory and practice**. Cost Action 817. INRA. Grignon, France, 1997.